

**„Gross-Divina, rendelésre” – a nagydivényi meteorit másolatának  
elkészítése 3D-nyomtatással  
(a meteorithullás és a példány rövid történetével)**

PAPP G.

*Magyar Természettudományi Múzeum, Ásvány- és Kőzettár, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2  
E-mail: pappmin@nhmus.hu*

**Abstract** – A 3D-printed replica of the main mass of the Gross-Divina meteorite, kept in the collection of the Department of Mineralogy and Petrology of the Hungarian Natural History Museum, has been prepared in the framework of a Slovak meteoritic project. This 3D-printed meteorite replica is among the first of its kind produced worldwide, therefore some details of the scanning and printing process are given and the experiences of the project are summarised here. Data on the acquisition and research history of the specimen, collected in connection with the project, are briefly reviewed and some physical data (size, weight, volume density) of the specimen (re)determined are reported. With 4 figures.

**Key words** – 3D printing, 3D scanning, bulk density of meteorites, Gross-Divina meteorite, making of meteorite replicas

## A METEORITMÁSOLÁSI PROJEKT HÁTTERE

A Magyar Természettudományi Múzeum (MTM) Ásvány- és Kőzettárát 2013 végén azzal a kéréssel kereste meg dr. Daniel Ozdín, a pozsonyi Comenius Egyetem Ásványtani és Kőzettani Tanszékének munkatársa, hogy másolatot szeretne készíttetni a mai Szlovákia területén lehullott nagydivényi (lajstromnevén: Gross-Divina) meteorit múzeumunkban őrzött példányából az APVV-0516-10 sz. „Szlovák meteoritok kutatása” c. projekt keretében. Az ennek felhasználásával előállított további másolatokat az Comenius Egyetemen, a Szlovák Természettudományi Múzeumban, a Szlovák Természetvédelmi és Barlangászati Múzeumban, illetve a hullás helyszínén tervezik elhelyezni. A meteoritmásolási projekt technikai részletei előtt ismertetjük a meteorit történetét.

## A NAGYDIVÉNYI (GROSS-DIVINA) METEORIT RÖVID TÖRTÉNETE

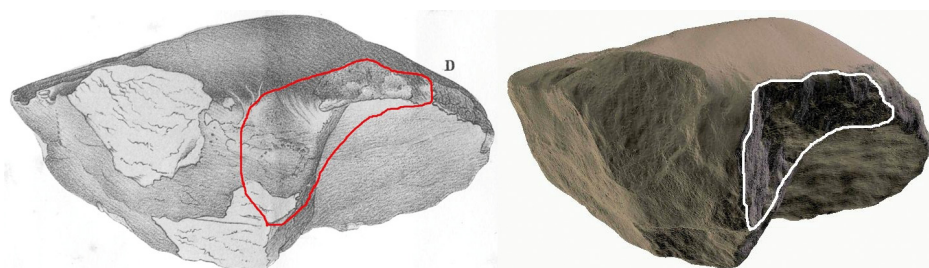
A nagydivényi meteorit 1837. július 24-én fél 12-kor hullott le a mezőn dolgozó parasztok szeme láttára az akkori Trencsén vármegye északkeleti részén,

Nagydivényben (akkor Nagy-Divina, ma Divina, Szlovákia, Zsolnai kerület, Zsolnai járás). A meteorit hivatalos lajstromneve a helynévnek a korai német nyelvű leírásokban használt alakja nyomán „Gross-Divina” lett, a szakirodalomban később használt szinonimái: Budetin, Great Divina, Great Diwina, Nagydévény, Nagydivény, Nagy-Divina, Nagy-Diwina, Velka-Divina. A korabeli leírások szerint (ANONYMUS 1837, SADLER 1845, ZÁVODNÍK in MARTIŠ 1973) a kissé felhős égből mennydörgésszerű zaj kíséretében DK felől ~50 fokos szögben érkező meteorit a templomtól 40 ölnyire (~75 m) a falu felső vége felé esett le, és az agyagos földben 2' 6" (~0,75 m) mélységben találták meg. [A korabeli leírások adatai a bécsi mértékrendszer követék: öl = 1,90 m, láb (') = 31,6 cm, hüvelyk (") 2,63 = cm, vonal (") = 2,195 mm; font = 0,56 kg, lat = 17,5 g.] Körülötte a gabona 3' 6" (~1 m) sugarú körben megdőlt. A még esése után fél órával is égetően forró követ Ján Lottner (1807–1876), a helyi római katolikus pap vette magához. A korabeli adatok szerint (ANONYMUS 1837, ZÁVODNÍK in MARTIŠ 1973) a kő hossza 9" 8", (25,4 cm), szélessége 9" 2", (24,1 cm), magassága 5" 6", (14,5 cm), legnagyobb kerülete 20" 6", (54 cm), térfogata 80 köbhüvelyk (~1500 cm<sup>3</sup>, téves adat), tömege 19 font (~10,6 kg) volt. A kő földet érése, illetve kiásása során és később az alsó részéből nagyobb, a kerületéből kisebb darabok törtek, ill. töretek le, a veszteséget 12–16 latra (0,2–0,3 kg) becsülték. 1838-ban a bécsi udvari természetrajzi gyűjteményben (*Hofnaturalienkabinet*) 18 font és 25 lat (10,52 kg) tömegűnek mérték (PARTSCH in SADLER 1845), de ekkor – a budapesti példány jelenlegi tömegéből és a leválasztott darabok össztömegéből visszaszámolva – valójában 10,6 kg-nál is valamivel többet nyomhatott.

A meteoritot Ján Lottner lelkész átadta a helység földbirtokosának, Csáky István gróf (1789–1829) özvegyének, a csehországi születésű Lažanský Ludmilla grófnőnek (1800–1883, a korábbi magyar szakirodalom tévesen Lasanszky Ludovika néven említette). A közeli budatini (akkor Budetin, ma Budatín, Szlovákia) Csáky-kastélyban őrzött meteoritot 1838 novemberében a Magyar Nemzeti Múzeumba szállították, amelynek a grófnő József nádor felkérésére adományozta (ZÁVODNÍK in MARTIŠ 1973). SADLER (1845) szerint a múzeum „1838. jul. 17-én lepetett meg ezen becses ritkaság által”. Előbb a követ még a bécsi udvari természetrajzi gyűjteménybe küldték, ott Paul Partsch kurátor leírást készített róla, emellett gipszmásolat is készült a példányról, és Michael Sandler, a *Hofnaturalienkabinet* rajzolója, több nézetben is megörökítette (PARTSCH 1843, HAIDINGER 1860). A meteoritról egy német nyelvű ásványtani szaklapban rövid ismertetést adó beszercebányai természetbúvár, Christian Andreas Zipser, a példányt 1839-ben az akkor (1838–1846 közt) ideiglenesen a Ludoviceumban elhelyezett Nemzeti Múzeumban látta (ZIPSER 1840). A meteorit a Múzeum körüli épületben vészelte át az 1956-os tűzvészt, jelenleg (2014) a Magyar Természettudományi Múzeumnak a Ludoviceum egykori lovardájában berendezett állandó kiállításán látható.

## A NAGYDIVÉNYI (GROSS-DIVINA) METEORIT A VILÁG METEORITGYŰJTEMÉNYEIBEN

A fő tömegről leválasztott darabok listáját és ezek történetét máshol fogjuk közzétenni, itt csak kivonatos áttekintést adunk. A bécsi udvari természetrajzi gyűjtemény még 1838-ban Ján Lottnertől kapott egy  $3\frac{11}{16}$  latos (64,5 g-os) töredéket (PARTSCH 1843). BUCHNER (1863) a Tübingeni Egyetemre került Reichenbach-féle gyűjteményből említett egy példányt. WÜLFING (1897) öt olyan közgyűjteményt és három magángyűjteményt sorolt fel, ahol a „Gross-Divina” meteorit – akkor 355 g össztömeget kitevő – kisebb darabjait őrizték. (Jelenleg nyolc ilyen köz- és két magángyűjteményről van tudomásunk.) A bécsin kívüli darabokat – melyek közül a legnagyobb (eredetileg 260, jelenleg 213,8 g-os) a párizsi Természettudományi Múzeumban (Muséum national d’Histoire naturelle) van – egy helyről választották le, nagy valószínűséggel 1864–68 közt. A letört darabok helye a HAIDINGER (1860, 1869) által közölt rajzok alapján megadható (1. ábra).



**1. ábra.** Balra a „Gross-Divina” meteorit egy 1838-ban készült rajzon (HAIDINGER 1860, II. tábla, 3. ábra), jobbra a virtuális 3D-modell hasonló nézetből, bejelölve az 1864–68 közt történt mintavétel helyét (kb. 290 g-nyi minta, kb. 85 cm<sup>3</sup>)

**Fig. 1.** View of the Gross-Divina meteorite (HAIDINGER 1860, Plate II, Fig. 3), based on a drawing made in 1838 (left), the virtual 3D model from the same view, the area of sampling is outlined (~290 g, ~85 cm<sup>3</sup> sample was removed between 1864–1868)

## A NAGYDIVÉNYI (GROSS-DIVINA) METEORIT A TUDOMÁNYBAN

A „Gross-Divina” meteoritot REICHENBACH (1859) rendszere második családjának második csoportjába osztotta be (vasszemcséket tartalmazó fehéres, durva felszínű alapanyag sötét gömbökkal). A Daubrée-féle meteoritosztályozás szerint a hintett vasat tartalmazó kőmeteoritok (*Sporadosidères*) kis vastartalmú csoportjába (*Oligosidères*) tartozott (DAUBRÉE 1868), ezen belül később Meunier először a „butsurit”, majd a „sigénit” csoportba sorolta, a „Butsura” és a „Sena” meteorittal felfedezni vélt rokonsága miatt (MEUNIER 1884, 1897). A Rose–

Tschermak–Brezina rendszerben TSCHERMAK (1872) és BREZINA (1885) szürke kondritként (*Cg*), majd BREZINA (1896) gömbkondritként (*Cc*) sorolta be (lásd még PRIOR 1923). HEY (1966) a Prior-féle rendszerből (PRIOR 1920) kiinduló katalógusában olivin-bronzit gömbkondritként szerepel. A jelenlegi besorolás szerint (GRADY 2000) H5 normál kondrit (azaz magas vastartalmú normál kondrit, közepes fokú termikus metamorfózis jeleivel).

SADLER (1845) „a tökéletes épség, nagyság és sajátságok tekintetében minden európai meteorkövek királya” gyanánt méltatta a nagydivényi meteoritot. A csaknem teljesen épen begyűjtött példány figyelemre méltó alakját és felszínén az olvadási kéreg helyenkénti eltéréseit már a napilapokban megjelent legelső tudósítások is megemlítették (pl. ANONYMUS 1837). A meteorit „tudományos karrierje” is jórészt alaki sajátságainak volt köszönhető. Ezek első részletes ismertetését SADLER (1845) közölte magyar nyelven, a bécsi udvari ásványgyűjtemény kurátora, Paul Partsch kézírata alapján. HAIDINGER (1860) a meteoritok uralkodó formájáról szóló – a korban sokat idézett – munkájában a „Stannern” és a „Gross-Divina” példányok alakjából és felületi textúrájából kiindulva kísérelte meg rekonstruálni e meteoritoknak a légkörön történő áthaladás során felvett pozícióját és tömegközéppontjuk körüli mozgását. E cikk tartalmazza a „Gross-Divina” meteorit első ábrázolását, méghozzá nem kevesebb mint négy nézetből (a rajzok a függőleges irányban kissé torzítottak, a valósnál lapultabbnak mutatják a példányt). HAIDINGER (1869) a „Goalpara” meteorit alaki elemzése kapcsán visszatért a „Gross-Divina” meteoritra is, és a példány képét is tartalmazó cikkben átértékelte korábbi interpretációját.

Ezután a „Gross-Divina” meteorit kikerült az érdeklődés homlokteréből, de áttekintő kutatások alkalmából időnként közölnek e meteorit anyagára vonatkozó különféle vizsgálati eredményeket is (az utóbbi évtizedekben pl. MASON 1963, SCHULTZ & WEBER 2003, ROCHETTE *et al.* 2003).

#### A NAGYDIVÉNYI (GROSS-DIVINA) METEORITRÓL KORÁBBAN KÉSZÜLT MÁSOLATOK

A meteoritról először a bécsi *Hofnaturalienkabinet*-ben készült egy gipszmásolat, HAIDINGER (1860, 1869) ezt használta föl a meteorit alaki elemzéséhez. Egy másik fajta gipszmásolat található Budapesten, ennek elkészítési ideje nem ismert, de bizonyos, hogy annak a ~290 g-os darabnak az 1864–68 közt történt leválasztása után készült, melynek zöme Párizsba került. Az 1952–56 között fennállt kiállításon e másolatot mutatták be az eredeti példány helyett, amely a raktárban volt, és az 1956-os tűzvészt is ott élte át (lásd ezzel kapcsolatban: PAPP 2006). A természetrajzi gyűjteményi tárgyakkal kereskedő Henry A. Ward árusította is a meteorit másolatait, mégpedig „Nagy-Divina” néven (WARD 1904),

ami azt sejteti, hogy a többek között a budapesti múzeummal is kapcsolatot tartó (WARD 1904, Preface p. iv) neves amerikai kereskedő a budapesti eredeti példányról készítettett öntőformát. 2014-es közlés szerint a forma és a gipszmásolatok sem lelhetők fel már a jogutód Ward's Science-nél. Valószínűleg Wardtól vásárolt másolatok megtalálhatók a londoni Természettudományi Múzeum (HEY 1966) és a chicagói Field Múzeum (FARRINGTON 1895) katalógusaiban.

A mostani projektben – a továbbmásolási szándék miatt – célszerűbbnek tűnt az új replikát magáról a meteoritról elkészíteni. Az érintkezési másolást – tehát gipsz- vagy szilikonminta készítését – el akartuk kerülni, mert ez az 1956-os tűzvész által is érintett meteorit felületét közvetlenül igénybe vette volna. Ennek nyomán felvetődött, hogy 3D-nyomtatással állítsuk elő a másolatot. Mivel az MTM Embertani Tára már 2008 óta együttműködik a Tondo SP1 Kft-vel, mely számos koponyamásolatot készített el e módszerrel, a projektet e cégen keresztül bonyolítottuk le. A vállalkozás bizonyos mértékig úttörőnek tekinthető, mivel előzetes tájékozódás szerint ilyen jellegű másolatok még nem készültek, vagy legalábbis nem publikálták az eredményeket. (A NASA Jet Propulsion Laboratory 2014 elején készítette el az „Opportunity” marsjáró által felfedezett „Block Island” meteorit másolatát.) Mindamellet webes fórumokon már az eljárás elterjedésének esetleges veszélyéről (meteorithamisítás lehetősége) folynak viták.

### A 3D-NYOMTATÁS ALAPELVEI

A különböző tárgyak 3D-nyomtatással történő előállítását additív (anyaghozzáadáson alapuló) gyártásnak is nevezik, mivel az adott formát a korábbi szubtraktív (anyageltávolításon alapuló) eljárásokkal szemben nem egy nagyobb anyagtömb „fölsleges” részeinek (forgácsolással, véséssel stb. történő) eltávolítása útján állítják elő, hanem rétegről-rétegre felépítik. A módszer alapelve hasonlít arra a régi eljárásra, amellyel régen a dombortérképeket szintvonalak mentén kivágott és egymásra ragasztott szeletekből állították össze.

Ha létező tárgyról van szó, a másolat elkészítéséhez szükséges „alaptérképet” – vagyis a térbeli modellt – a tárgy 3D-szkennelésével állítják elő. Ezután e virtuális modellt számítógépes eljárással valamilyen praktikus megválasztott irányra merőlegesen vékony, azonos vastagságú virtuális rétegekre szeletelik. A virtuális szeletek alapján a 3D-nyomtató építi fel a valós háromdimenziós tárgyat.

Ahogy a ragasztott szeletekből előállított dombortérkép lépcsőfokait gipszszel kisimították, a 3D-nyomatról is többnyire el kell tüntetni a szeleteléses technikából adódó – a nyomtatási eljárástól, illetve az adott gép teljesítményétől és beállításától függően egy-két század és egy-két tized mm közti – finom lépcsőzetességet. Ezt általában nem a bemélyedések kitöltésével, hanem a kiemelkedések eltávolításával érik el (pl. csiszolással).

## A NAGYDIVÉNYI (GROSS-DIVINA) METEORIT 3D-MÁSOLATÁNAK ELKÉSZÍTÉSE

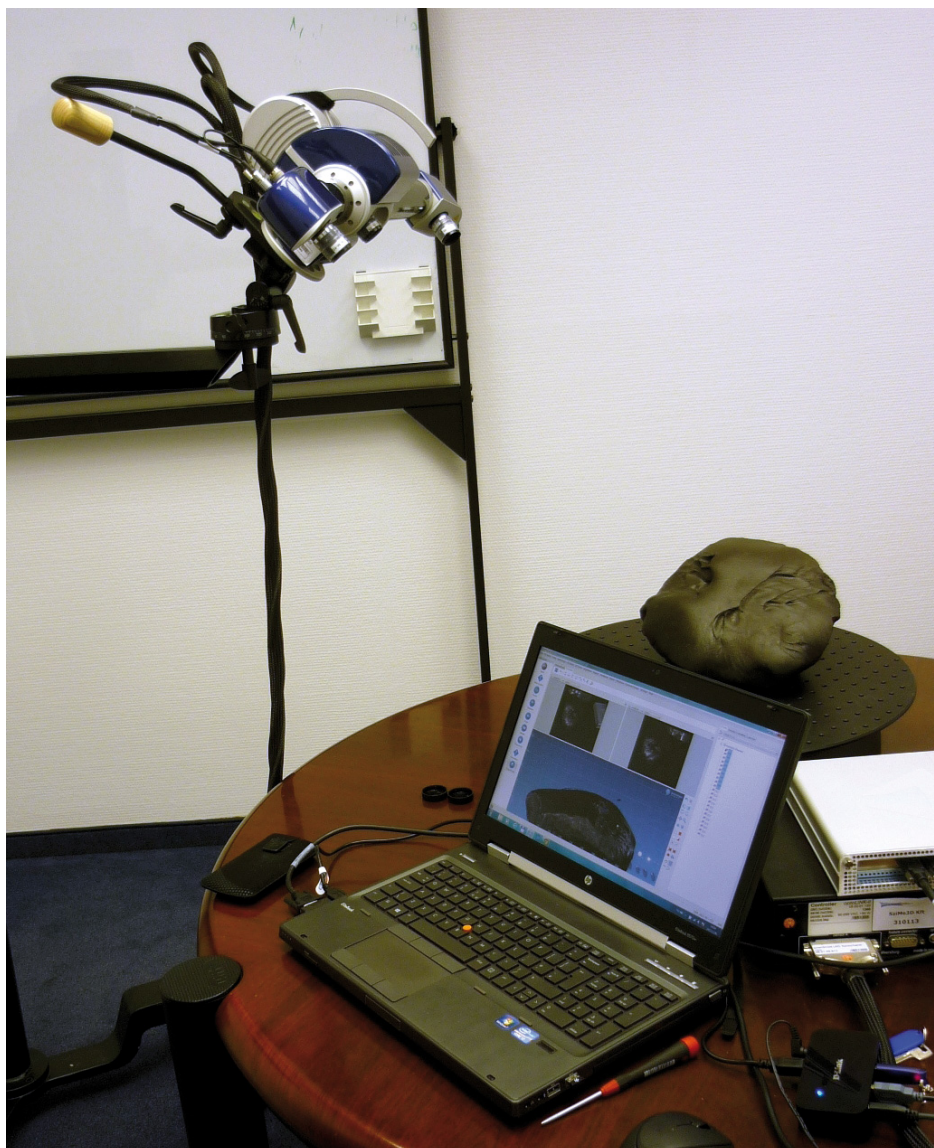
A meteoritpéldányt Vári Barnabás (Humansoft Kft.) szkennelte be Breuckmann 3D SmartSCAN berendezéssel, és a mérési eredményeket az OPTOCAT (Breuckmann GmbH) programmal dolgozta fel. E fehér fénnel működő digitalizáló eszköz precízen pozicionált, 5 megapixel felbontású digitális kamerái a tárgyra vetített sötét és világos csíkokból álló háló visszaverődött képét veszik fel (strukturált fénnel történő szkennelés). A felület egyes pontjainak térbeli helyzetét a háromszögelési elv alapján lehet meghatározni. Az igen sok egyedi ponton mért térbeli koordináták által megadott pontfelhő képezi a 3D-modell alapadatát. A felületmodellt a szoftver a szomszédos mérési pontok alkotta háromszögekből szerkesztett hálóból képezi. A szkennelés felbontása  $x, y$  irányban 0,14 mm,  $z$  irányban 0,008 mm volt. A felület rekonstrukciójához használt 3D pontfelhőt 1 000 136 pont alkotta, a belőlük képezett 2 000 272 elemi háromszög átlagos területe (a meteorit 1310 cm<sup>2</sup>-es felületéből számolva) 0,065 mm<sup>2</sup> volt.

E szkennelési eljárás számára a matt, fehér felület az ideális, míg a meteorit csaknem fekete, néhol erősebben reflektáló („csillogó”) területekkel. Ezért előzetesen felmerült, hogy a sikeres szkenneléshez a példány felületét esetleg a vékony fehér, porszerű bevonatot képező ciklododekánnal (C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>) kell befűjni. Ezt lehetőleg szerettük volna elkerülni, hiszen a ciklododekánbevonat egyrészt valamennyire „elkeni” a felületi textúrát, másrészt némi kockázatot is jelent, bár ez az illékony szerves vegyület kellően tiszta állapotban néhány nap alatt nyom nélkül elpárolog a kezelt tárgyról. Szerencsére a „mattításra” nem volt szükség, mert a digitalizáló eszközbe a kezeletlen meteoritról is megfelelő minőségű jel érkezett. A szkennelés 2013. december 6-án történt, és kevesebb mint egy órát vett igénybe (2. ábra).

A 3D-nyomtatást Liszkai Tamás (Protokat Budapest) végezte Fused Deposition Modelling (FDM-) technológiával. Az FDM a jelenleg legelterjedtebb 3D-nyomtatási technológia, mely a modell rétegeit olvasztott műanyagból állítja elő. A nyomtatóba tekercs formájában betöltött műanyag szálát megolvasztják, és az extrudáló fej finom részén kipréselik. A szerszámból kijutó olvadék lehűl, és hozzádermed a korábban kipréselt és már megszilárdult részekhez. A fej és a készülő tárgyat tartó asztal egymáshoz képest precíz mozgását számítógéppel vezérelt léptető motorok biztosítják a folyamat során.

A nyomtatáshoz az ABS néven ismert akrilonitril-butadién-sztirén ((C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>)<sub>x</sub> · (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>)<sub>y</sub> · (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N)<sub>z</sub>) összetételű műanyagot használták. (Ebből a 105 °C körül lágyuló, fröccsöntésre is előszeretettel alkalmazott műanyagból gyártják többek közt a LEGO építőelemeket is.) A fehér színű ABS-t a meteoritmodell nyomtatásához feketére színezték. Ezen alapanyag elsődleges előnye az erősség és tartósság, emellett az FDM-technológia mellett szólt az is, hogy a viszonylag nagy

méretű testek (mint e meteorit) elkészítésekor lehetőséget ad az ún. ritkított térkitöltésű nyomtatásra, ekkor a nyomtatóberendezés a modell belső, tömör részeit laza térhálós szerkezettel helyettesíti. Az ilyen módon készült modellek erősek maradnak, de a nyomtatáshoz szükséges alapanyag-mennyiség és idő csökkentésével jelentős költségmegtakarítás érhető el.



2. ábra. A „Gross-Divina” meteorit a 3D-szkennelvel (fotó: Papp G.)  
Fig. 2. The Gross-Divina meteorite with the 3D scanner (photo G. Papp)



## TAPASZTALATOK

Magára a 3D-nyomtatásra vonatkozóan egy mondatban összefoglalva kijelenthető, hogy – amennyiben gipsz-, illetve szilikonmásolat készítése nem ajánlatos vagy nem megoldható – a jellegzetes alakú meteoritok másolására alkalmas eljárás, de a nyomtatott replika felületének különböző mértékű utólagos kezelése elengedhetetlen.

A részleteket tekintve: a digitális modell előállításához szükséges 3D-szkennelést a meteorit felületi bevonása nélkül meg lehetett oldani a strukturált fényes módszerrel. Az előállított virtuális modell (3. ábra) többek között lehetővé teszi a térfogat- (avagy halmaz-) sűrűség (bulk density) könnyű meghatározását (lásd FRY 2013). A „Gross-Divina” meteorit térfogatsűrűsége az új tömegmérés eredménye (10 334 g) és a program által a modelltől számolt térfogat (3105,5 cm<sup>3</sup>) alapján 3,33 g/cm<sup>3</sup>, amely közel áll a H típusú kondritokra közölt átlaghoz (3,40 ± 0,18 g/cm<sup>3</sup>). A korábban egy 4,1 g-os töredéken meghatározott 3,56 g/cm<sup>3</sup> sűrűség (PARTSCH in SADLER 1845) értelemszerűen a szemcsesűrűségi (grain density) átlaghoz áll közelebb (3,64 ± 0,12 g/cm<sup>3</sup>; átlagértékek: BRITT & CONSOLMAGNO 2003).

Maga a szkennelés a kb. 25×21×14 cm-es nagydivényi meteoritnál nagyobb méretű példányoknál sem okoz gondokat, a nyomtatásnál viszont korlátot jelent a nyomtatók munkaterének mérete. (A 60 cm-es legnagyobb méretű „Block Island” meteorit szintén FDM-technikával készült másolatát 11 részből illesztettek össze a NASA laboratóriumában.)

A nagydivényi meteorit FDM-eljárással nyomtatott replikája (4. ábra) a nagy formák tekintetében szépen visszaadta az eredetit, viszont a 0,254 mm-es rétegfelbontás miatt a felülete – különösen a virtuális szeletekkel közel párhuzamos részeken – szembenően lépcsős (vö. a „Block Island” meteoritmásolat részeinek utókezelés előtti képével, ANONYMUS 2014). Az elemi rétegek (szeletek) vastagsága – és ezáltal a lépcsősség – nagyságrendileg csökkenthető más nyomtatási eljárásokkal, mint például a sztereolitográfia (SLA-) vagy a Polyjet technológiával, melyek speciális, fényérzékeny műgyanta-alapanyagokat (fotopolimereket) használnak. Ezeknél problémát jelenthet viszont a nagyméretű, tömör testek előállítása, illetve a méretből és tömör térkitöltésből adódóan az FDM-eljáráshoz képest többszörös költség. A porágyas (powder bed printing) technológiával is csak tömör testeket lehet előállítani, ezáltal szintén nincs mód az alapanyagköltség csökkentésére.

A felület kezelése természetesen nemcsak a lépcsősség („szintvonalasság”) elsimítása érdekében szükséges, hanem a meteorit felszínének és a nyomtatáshoz használt anyagnak eltérő színe és fénye miatt. A nagydivényi meteorit 3D-nyomtatott másolatát, tekintettel arra, hogy további másolatok elkészítésé-

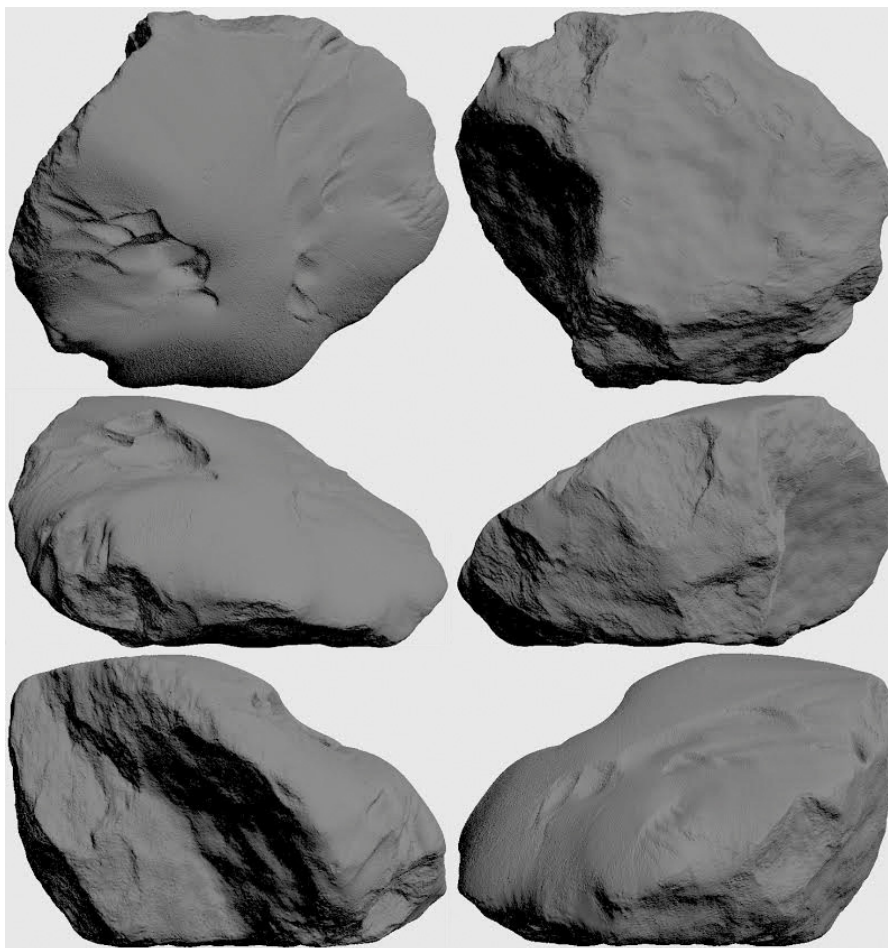


nek mintájául kívánják használni, „nyers” állapotában adtuk át a szlovák kollégáknak, hogy a felületkezelés mikéntjéről ők dönthessenek.

A másolatkészítés teljes költsége (szkennelés és nyomtatás) 1000 € volt.

\*

*Köszönetnyilvánítás* – A 3D-másolásra vonatkozó részeket Liszkai Tamás (Protokat Budapest), Vári Barnabás (Humansoft Kft.) és Vida Ágnes (Tondo SP1 Kft.) volt szíves átnézni és kiegészíteni. A „Gross-Divina” töredékeire, ill. másolataira vonatkozó információkat küldött Franz Brandstätter és Ludovic Ferrière (Naturhistorisches Museum Wien, Ausztria), Guy Consolmagno S. J. (Specola Vaticana, Castel Gandolfo, Olaszország), Udo Neumann (Tübingeni Egyetem, NSZK), valamint a Ward's Science Ltd. (Rochester, N.Y., USA).



3. ábra. A „Gross-Divina” meteorit virtuális 3D-modellje hat nézetből

Fig. 3. Virtual 3D model of the Gross-Divina meteorite from six views

**“Gross-Divina on demand” – making of a meteorite replica by 3D printing  
(with a brief history of the meteorite fall and the specimen)**

G. PAPP

*Department of Mineralogy and Petrology, Hungarian Natural History Museum  
H-1083 Budapest, Ludovika tér 2, Hungary. E-mail: pappmin@nhmus.hu*

**BACKGROUND OF THE PROJECT**

Dr Daniel Ozdín of the Department of Mineralogy and Petrology, Comenius University, Bratislava, Slovakia, approached the Department of Mineralogy and Petrology of the Hungarian Natural History Museum (HNHM) with a request of obtaining a replica of the main mass of the Gross-Divina meteorite, kept in our museum. The costs were covered by the budget of the research project APVV-0516-10 “Study of Slovak meteorites” (the Gross-Divina meteorite fell in the area of present-day Slovakia). Further replicas, to be made using the “master replica”, are planned to be exhibited at the Comenius University, the Slovak Museum of Natural History, the Slovak Museum of Nature Protection and Speleology and in Divina, where the meteorite landed. Prior to the description of the technical details of the replica-making project, the history of the specimen is described.

**BRIEF HISTORY OF THE GROSS-DIVINA METEORITE**

The Gross-Divina meteorite fell on July 24, 1837, around 11:30, before the eyes of peasants working in the fields at Nagy-Divina, Trencsén county, Hungary (now Divina, Žilina District, Žilina Region, Slovakia). The official name of the meteorite comes from the German version of the locality name, used in the early German-language descriptions (synonyms: Budetin, Great Divina, Great Diwina, Nagydévény, Nagydivény, Nagy-Divina, Nagy-Diwina, Velka-Divina). According to contemporary descriptions (ANONYMUS 1837, SADLER 1845, ZÁVODNÍK in MARTIŠ 1973), the meteorite fell from a slightly cloudy sky with a thunderous noise from SW in ~50° angle, 40 fathoms (~75 m) off the church at the upper end of the village; it was found at a depth of 2' 6" (~0.75 m) in the clayey soil. [NB. Contemporary descriptions used the Viennese system of measurement; fathom = 1.90 m, foot (') = 31.6 cm, inch (") = 2.63 cm, line (") = 2.195 mm; pound = 0.56 kg, lot = 17.5 g.] Half an hour after the fall, the stone was still burning hot. The cereal was laid down around the spot in a circle of 3' 6" (~1 m) radius. The meteorite was taken over by Ján Lottner (1807–1876), the lo-

cal Roman Catholic priest. According to contemporary data (ANONYMUS 1837, ZÁVODNÍK in MARTIŠ 1973), the stone was 9" 8" (25.4 cm) in length, 9" 2" (24.1 cm) in width, 5" 6" (14.5 cm) in height, with a maximum circumference of 20" 6" (54 cm), volume of 80 cubic inches ( $\sim 1500 \text{ cm}^3$ , wrong data), and weight of 19 pounds ( $\sim 10.6 \text{ kg}$ ). During the landing and the digging out of the meteorite, the estimated loss was 12 to 16 lots (0.2 to 0.3 kg). In the *Hofnaturalienkabinet* (the natural history collection of the Imperial and Royal Court in Vienna), the remaining main mass was found to weigh 18 pounds and 25 lots (10.52 kg, PARTSCH in SADLER, 1845). However, considering the present-day mass of the Budapest specimen and the total mass of the known detached fragments, the main mass must have been heavier then (*i.e.* slightly above 10.6 kg).

The priest of the village, Ján Lottner, handed over the meteorite to the landowner, the Czech-born Countess Ludmilla Lažanský (1800–1883, erroneously called in the earlier Hungarian papers as Ludovica Lasanszky, widow of the Count István Csáky, 1789–1829), who kept the specimen in the nearby Csáky castle at Budatin (then Budetin; today Budatín, Slovakia). Upon the request of Palatine Joseph, patron of the Hungarian National Museum, the Countess donated the meteorite in November, 1838 to the museum (ZÁVODNÍK in MARTIŠ 1973). According to SADLER (1845), the museum "was surprised with this precious rarity" on July 17, 1838. The stone had been sent previously to the *Hofnaturalienkabinet* in Vienna for a short time, where a plaster cast was produced, Paul Partsch, curator of the Cabinet, made a description, and Michael Sandler, artist of the Cabinet, drew it from several views (PARTSCH 1843, HAIDINGER 1860). Christian Andreas Zipser, who published a brief report about the meteorite in a German mineralogical journal (ZIPSER 1840), saw the specimen in 1839 in the Ludoviceum in Pest, where the National Museum was temporarily accommodated between 1838–1846. The meteorite survived the 1956 conflagration of the Dept. of Mineralogy and Petrology in the building of the National Museum in Budapest. Now (2014) it is displayed in the permanent exhibition of the HNHM in the former riding hall of the Ludoviceum.

## THE GROSS-DIVINA METEORITE IN COLLECTIONS

A detailed list of the fragments detached from the main mass will be published elsewhere; here we give a brief overview only. The *Hofnaturalienkabinet* received a fragment weighing 3 11/16 lot (64.5 g) from Ján Lottner in 1838 (PARTSCH 1843). BUCHNER (1863) noted that a specimen is found in Reichenbach's collection (donated to the University of Tübingen). WÜLFING (1897) listed five public and three private collections that owned fragments from the Gross-Divina meteorite (with a total weight of 355 g) in addition to the main mass in Budapest. At

present, we have information on eight public and three private collections where Gross-Divina fragments are preserved. Except for the specimen in Vienna, every sample, the largest of which (originally 260, now 213.8 g) is found in the French National Museum of Natural History (Muséum national d'Histoire naturelle), was most probably detached from the same area of the specimen between 1864–1868. The sampling area (Fig. 1) can be located by the comparison of the actual shape of the specimen with the drawings published by HAIDINGER (1860, 1869).

### THE GROSS-DIVINA METEORITE IN SCIENCE

REICHENBACH (1859) classified the Gross-Divina meteorite into the second group of the second family in his system (*i.e.* meteorites with coarse surface and whitish matrix containing dark spherules). According to Daubrée's classification (DAUBRÉE 1868), it belonged to the low-iron subgroup (*Oligosidères*) of the group of stony meteorites with disseminated iron (*Sporadosidères*). Meunier, who made an elaborate system on the basis of Daubrée's classification, initially put it into the "butsurite", then into the "sigénite" group, based on the suggested relationship between the Gross-Divina and the Butsura and Sena meteorites (MEUNIER 1884, 1897). Gross-Divina was classified in the Rose–Tschermak–Brezina system first by TSCHERMAK (1872) and BREZINA (1885) as grey chondrite (*Cg*), then by BREZINA (1896) as spherical chondrite (*Cc*), see also PRIOR (1923). In the catalogue of HEY (1966), based on Prior's system (PRIOR 1920), Gross-Divina is listed as spherical olivine-bronzite chondrite. According to the current classification (see GRADY 2000), it is an H5 normal chondrite (*i.e.* high-iron normal chondrite, showing signs of moderate thermal metamorphism).

SADLER (1845) praised the Gross-Divina meteorite as "the king of all European stony meteorites regarding its perfect integrity, size and features". The remarkable shape and the local variations of the fusion crust observable on the almost completely intact meteorite have been mentioned even by the first newspaper reports (*e.g.* ANONYMUS 1837). The "scientific career" of the meteorite was largely due to its external properties. The first detailed description of the meteorite, published by SADLER (1845) in Hungarian, was a translation of the manuscript of Paul Partsch, curator of the *Hofnaturalienkabinet* in Vienna. The paper of HAIDINGER (1860) on the dominant form of meteorites, frequently cited in the contemporary meteoritical literature, was based on the careful observation of the Stannern and Gross-Divina meteorites. From the shape of these stones and the texture of their surface, Haidinger attempted to reconstruct the position they hold during their passage through the atmosphere and their movement around their centre of gravity. This paper contains the first depiction of the Gross-Divina meteorite from not less than four views, based on the drawings of

Sandler. (NB. On these drawings the meteorite is vertically slightly flatter than in reality.) HAIDINGER (1869), in his analysis of the form of the Goalpara meteorite, returned to the Gross-Divina specimen and revised his previous (HAIDINGER 1860) interpretation; the four images published in this paper show the same view as those in HAIDINGER (1860) but the graphical details are slightly different.

After these papers, the Gross-Divina meteorite never stood again in the centre of interest, but review papers sometimes report analytical data of different kinds measured on samples from this meteorite (from the last few decades *e.g.* MASON 1963, SCHULTZ & WEBER 2003, ROCHETTE *et al.* 2003).

#### EARLIER REPLICAS OF THE GROSS-DIVINA METEORITE

The first replica of the meteorite was a plaster cast made in the *Hofnaturalienkabinet* in Vienna. HAIDINGER (1860, 1869) used this cast for the shape analysis of the meteorite. There is another kind of plaster cast of unknown origin in the HNHM. It was certainly made after the removal of a ~290 g piece from the meteorite between 1864–1868. This replica was exhibited between 1952–56 instead of the original, which was in the repository hit by fire in 1956 (see PAPP 2006). The natural history collection items dealer Henry A. Ward also sold plaster casts of this meteorite by the name “Nagy-Divina” (WARD 1904). This fact suggests that the prominent American dealer, who maintained contacts among others with the Budapest museum (WARD 1904, Preface, p. iv), prepared a mould using the original specimen. Neither casts nor the mould can be found any more according to a notice from the successor Ward’s Science (pers. comm., 2014). Casts of the Gross-Divina meteorite, presumably acquired from Ward, are listed in the meteorite catalogue of the Natural History Museum, London (HEY 1966) and of the Field Museum, Chicago (FARRINGTON 1895).

As further replicas are planned to be made using the replica produced in the current project, we decided to make a new replica using the original meteorite instead of replicating the plaster cast. We wanted to avoid the contact processes (*i.e.* using plaster or silicone) because they would damage the surface of the meteorite, which was already hit by the fire in 1956. The idea of 3D scanning and printing as a non-contact process emerged then. The Tondo SP1 Ltd has produced a number of skull replicas for the Department of Anthropology of the HNHM since 2008 by this method; therefore, the project was completed through this company. Our venture is among the first of its kind, as 3D-printed replicas of meteorites have not been made previously or at least the results have not been published. (The Jet Propulsion Laboratory of the NASA produced the 3D-printed replica of the “Block Island” meteorite discovered by the Mars rover “Opportunity” a few months later, during early 2014.) However, web-based fo-

runs have already discussed the risks of the introduction of this method for making meteorite replicas (*i.e.* production of fake meteorites).

### PRINCIPLES OF 3D PRINTING

3D printing of various objects is called additive manufacturing, since the model is produced via addition of material layer by layer as opposed to (earlier) subtractive techniques, when the “unnecessary” parts of a large block of material are removed (by cutting, carving etc.). The principle of this process is similar to the old method used for production of relief maps, when slices cut along the contour lines were attached one above the other.

When a real object is to be copied, the “base map”, *i.e.* the 3D model, is produced by 3D scanning of the given object. Then this virtual model is “sliced” into thin layers of equal thickness perpendicularly to a practically chosen direction by a computer program. The 3D printer builds up a real 3D object based on these virtual slices.

As the steps of the relief maps produced by the superposition of slices were “smoothed away” by plaster, the steps of the 3D prints (caused by the layer by layer printing technique) are also to be “smoothed away” during the finishing process, usually by the removal of the steps (*e.g.*, by grinding) and not by filling the grooves. The height of the steps varies between 0.001–0.002 to 0.1–0.2 mm, depending on the 3D printing method and performance and setting of the 3D printer.

### PREPARATION OF THE 3D PRINT OF THE GROSS-DIVINA METEORITE

The meteorite specimen was scanned by Barnabás Vári (Humansoft Ltd.) by a Breuckmann 3D SmartScan structured-light 3D scanner (a “white light scanner”), the results were processed by the OPTOCAT program (Breuckmann GmbH). The precisely positioned 5 MP resolution digital cameras of this scanner record the reflected images of a fringe pattern (light strips of a net) projected onto the object. The spatial position of the points of the surface of the object is determined by the triangulation method. The point cloud composed by the spatial co-ordinates of a large number of measured individual points is the basic data set of the 3D model. The surface model is a triangle net (mesh) created by the software from the adjacent measuring points. The resolution of the scanning was 0.14 mm in the  $x, y$  direction and 0.008 mm in the  $z$  direction. A 3D cloud of 1,000,136 points was used for surface reconstruction, the average area of the 2,000,272 elementary triangle was 0.065 mm<sup>2</sup> (calculated from the 1310 cm<sup>2</sup> surface area of the meteorite).

For this scanning process, a dull white surface is ideal, while the meteorite is almost black, with sometimes strongly reflecting ("shining") areas. One can overcome this difficulty by covering the surface using cyclododecane ( $C_{12}H_{24}$ ) spray, which forms a thin white powdery coating. We wanted to avoid this treatment, as the cyclododecane coating slightly "smoothes" the surface texture and it may pose some risk, although the sufficiently pure material evaporates from the surface within a few days without leaving any trace. Fortunately, there was no need for this kind of "dulling", because the untreated meteorite produced signals of sufficient quality. The specimen was scanned on December 6, 2013; the process took less than an hour (Fig. 2).

3D printing was made by Tamás Liszkai (Protokat Budapest) using FDM (Fused Deposition Modelling) technology. FDM, the currently most widely used 3D printing technology, produces the layers of the model from fused plastics. A thermoplastic filament is unreeled from a coil and extruded in molten state through a fine hole of a nozzle head. The melt then cools and freezes onto the previously extruded and solidified parts. Computer-controlled stepper motors move the nozzle head and the machine table relative to each other throughout the process.

For printing, acrylonitrile butadiene styrene ( $((C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z)$ ), known as ABS, was used. (This thermoplastic, which melts around 105 °C, is widely used in injection moulding, this is the material of the LEGO building blocks, too.) The off-white ABS was pigmented to black for the printing of the meteorite. The primary advantage of this raw material is its strength and durability. Additionally, FDM technology allows the preparation of "lightened" models of relatively large objects (like this meteorite) via sparse fill printing, when the solid interior of the model is replaced by a hollow cell-like structure. The models produced in this way remain strong, and the savings in raw material and machine time required for printing significantly decrease production costs.

## EXPERIENCES

In one sentence, if making of plaster or silicone copy is not advisable or not feasible, 3D printing is a suitable method for producing replicas of meteorites of characteristic shape, but finishing of the surface of the printed replica to a certain degree is essential.

Coming to the details, we were able to perform 3D scanning by the structured light method without coating the meteorite surface. The virtual 3D model (Fig. 3) allows easy determination of bulk density among others (see FRY 2013). The bulk density of Gross-Divina based on the new mass data (10,334 g) and on the volume calculated from the 3D model (3105.5 cm<sup>3</sup>) is 3.33 g/cm<sup>3</sup>, which



is close to the average value of the bulk density of H-type chondrites ( $3.40 \pm 0.18 \text{ g/cm}^3$ ). The density of  $3.56 \text{ g/cm}^3$ , previously determined using a 4.1 g fragment (PARTSCH in SADLER 1845), is, of course, closer to the average value of the grain density of H-type chondrites ( $3.64 \pm 0.12 \text{ g/cm}^3$ ; averages from BRITT & CONSOLMAGNO 2003).

3D scanning can easily be done for specimens even larger than the Gross-Divina meteorite ( $\sim 25 \times 21 \times 14 \text{ cm}$ ) but the limited workspace of 3D printers may cause problems (*e.g.* the replica of the Block Island meteorite with a maximum span of 60 cm, which was also printed using the FDM technique by NASA Jet Propulsion Lab, was assembled from 11 segments).

The replica of the Gross-Divina meteorite, printed by the FDM process (Fig. 4), neatly reproduces the major forms of the original but, due to the 0.254 mm layer resolution, its surface is visibly stepped, especially in the areas, where the virtual slices are approximately parallel with the surface (compare with the pictures showing the segments of the “Block Island” meteorite replica before finishing, ANONYMUS 2014). The thickness of the elementary layers (slices), and thus the height of the steps, can be reduced by at least an order of magnitude using other printing methods, such as stereolithography (SLA) or Polyjet technology, which use special photosensitive resins (photopolymers). There are drawbacks of these methods, however, namely problems with the production of large solid bodies, and the multiplication of the costs (as compared to FDM costs) due to the impossibility of making sparse fill printed (“lightened”) models by these methods. The powder bed printing technology can also produce solid bodies only; thereby it is also impossible to reduce the raw material cost using this process.



4. ábra. A „Gross-Divina” meteorit, balról jobbra a gipszmásolat, a 3D-nyomtatott másolat és az eredeti példány (fotó: Jánosi M.)

Fig. 4. The Gross-Divina meteorite, (from left to right:) plaster cast, 3D-printed replica, original specimen (photo M. Jánosi)

Of course, surface treatment (finishing) is necessary not only because of the stepped surface, but due to the departure of the colour and lustre of the meteorite surface and of the printing material. As the 3D-printed replica of the Gross-Divina meteorite will be used for the preparation of additional copies, we handed it over to the Slovak colleagues in the "raw" state, to let them choose the most appropriate method of finishing.

The total production (scanning and printing) cost of the replica was € 1,000.

\*

*Acknowledgements* – The sections dealing with 3D scanning and printing were reviewed and completed by Tamás Liszkai (Protokat Budapest), Barnabás Vári (Humansoft Ltd.) and Ágnes Vida (SP1 Tondo Ltd.). Information on the fragments and replicas of "Gross-Divina" was sent by Franz Brandstätter and Ludovic Ferrière (Naturhistorisches Museum Wien, Austria), Guy Consolmagno SJ (Specola Vaticana, Castel Gandolfo, Italy), Udo Neumann (University of Tübingen, Germany) and Ward's Science Ltd. (Rochester, NY, USA).

## IRODALOM – REFERENCES

- ANONYMUS 1837: [Cím nélkül/Without title] – *Augsburger Allgemeine Zeitung*, 27.VIII.1837, Nr. 239.
- ANONYMUS 2014: Replication a rock on Mars. – *Mars Exploration Rovers*. <http://marsrover.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20140407a.html> [Accessed 12 June 2014].
- BRITT D. T. & CONSOLMAGNO G. J. 2003: Stony meteorite porosities and densities: A review of the data through 2001. – *Meteoritics & Planetary Science* **38**(8): 1161–1180.
- BREZINA A. 1885: Die Meteoritensammlung des k. k. Mineralogischen Hofkabinetes in Wien am 1. Mai 1885. – *Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt* **35**: 151–276.
- BREZINA A. 1896: Die Meteoritensammlung des k. k. Naturhistorischen Hofmuseums am 1. Mai 1895. – *Annalen des Kaiserlich-Königlichen Naturhistorischen Hofmuseums* **10**(3–4): 231–370.
- BUCHNER O. 1863: *Die Meteoriten in Sammlungen, ihre Geschichte, mineralogische und chemische Beschaffenheit*. – W. Engelmann, Leipzig, 230 pp.
- DAUBRÉE A. 1868: *Météorites du Muséum d'Histoire naturelle, au 31 Mars 1868*. – Muséum d'Histoire Naturelle, Paris, 6 pp.
- FARRINGTON O. C. 1895: *Handbook and catalogue of the meteorite collection*. – Publications of the Field Columbian Museum, Geological Series, Vol. 1. No. 1. Field Columbian Museum, Chicago, 66 pp.
- FRY C. A. 2013: *3D laser imaging and modeling of iron meteorites and tektites*. – MSc Thesis, Carleton University, Ottawa, Ontario. [http://earthsci.carleton.ca/sites/default/files/samson-lab/Fry\\_MSc\\_Thesis.pdf](http://earthsci.carleton.ca/sites/default/files/samson-lab/Fry_MSc_Thesis.pdf) [Accessed 12 June 2014].
- GRADY M. 2000: *Catalogue of meteorites*. – Cambridge University Press, Cambridge, 689 pp.
- HAIDINGER W. VON 1860: Eine Leitform der Meteoriten. – *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* **40**: 525–536.
- HAIDINGER W. VON 1869: Der Meteorit von Goalpara in Assam nebst Bemerkungen über die Rotation der Meteoriten im Fluge. – *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe. Abtheilung II*. **59**: 665–678.
- HEY M. H. 1966: *Catalogue of meteorites*. 3rd edition. – Trustees of the British Museum (Natural History), London, 637 pp.

- MARTIŠ J. 1973: Život a dielo Štefana Závodníka [Life and works of Štefan Závodník]. – *Biografické štúdie* 4: 11–37.
- MASON B. 1963: Olivine composition in chondrites. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* 27(10): 1011–1023.
- MEUNIER S. 1884: Météorites. – In: FRÉMY E. (ed.): *Encyclopédie chimique. Tome II. Métalloïdes. 2ème appendice*. Dunod, Paris, 533 pp.
- MEUNIER S. 1897: Revision des pierres météoriques de la collection du Muséum d'histoire naturelle de Paris. – *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Autun* 9: 355–474.
- PAPP G. 2006: 1956 egy különös „túlélője”. [A strange “survivor” of 1956.] – *Geoda* 16(3): 32–33.
- PARTSCH P. 1843: *Die Meteoriten oder vom Himmel gefallenen Steine und Eisenmassen im k. k. Hof-Mineralien-Kabinette zu Wien*. – Verlag von Kaulfuss Witwe, Prandel & Comp., Wien, 162 pp.
- PRIOR G. T. 1920: The classification of meteorites. – *Mineralogical Magazine* 19: 51–63.
- PRIOR G. T. 1923: *Catalogue of Meteorites*. – Trustees of the British Museum (Natural History), London, 196 pp.
- REICHENBACH K. L. FRH. VON 1859: Über die chemische Beschaffenheit der Meteoriten. – *Annalen der Physik* 183(7): 353–374.
- ROCHETTE P., SAGNOTTI L., BOUROT-DENISE M., CONSOLMAGNO G., FOLCO L., GATTACCECA J. & PESONEN L. 2003: Magnetic classification of stony meteorites: 1. Ordinary chondrites. – *Meteoritics & Planetary Science* 38(2): 251–268.
- SADLER J. 1845: A Horvátországban 1842. ápril 26-án délután 3 órakor történt meteorköesésről. [On the meteorite fall happened in Croatia at 3 PM, on 26 April, 1842.] – In: TÖRÖK J. (ed.): *A Királyi Magyar Természettudományi Társulat Évkönyvei, 1. kötet, 1841–1845*. Beímel József, Pest, pp. 33–41.
- SCHULTZ L. & WEBER H. W. 2003: The noble gas record of Central Europe's stone meteorites. – *Meteoritics & Planetary Science* 38(Supplement): Abstract No. 5061.
- TSCHERMAK G. 1872: Die Meteoriten des k. k. Mineralogischen Museums am 1. October 1872. – *Mineralogische Mittheilungen* 4: 165–172.
- WARD H. A. 1904: *Catalogue of the Ward-Coonley collection of meteorites*. – [Marsh, Aitken & Curtis Co., Printers,] Chicago, 113 p.
- WÜLFING E. A. 1897: *Die Meteoriten in Sammlungen und ihre Literatur: Nebst versuch den Tauschwert der Meteoriten zu bestimmen*. – Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung, Tübingen, 460 pp.
- ZIPSER CH. A. 1840: [Cím nélkül/Without title] – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefakten-Kunde* 1840: 88–90.